

# Mikro Şebekenin Farklı İşletme Koşulları Altında İncelenmesi

Serhat Berat Efe<sup>1</sup>, Mehmet Cebeci<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 13100, Bitlis, TÜRKİYE

[sbefe@beu.edu.tr](mailto:sbefe@beu.edu.tr)

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE

[mcebeci@firat.edu.tr](mailto:mcebeci@firat.edu.tr)

## Özet

Teknolojik gelişmeler, cihazların küçülmesi ve hızlanmasının yanında dezavantaj olarak aşırı hassaslaşmalarına yol açmaktadır. Bir şebekedeki kullanıcıların büyük bölümünün hassas yüklere sahip olması, bireysel önlemlerin, yerini şebeke bazında alınacak önlemlere bırakmasını zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk sonucunda, kritik yüklerin enterkonnekte şebekede oluşacak kesinti ve arızalardan en az düzeyde etkilenmesi yaklaşımı mikro şebeke kavramını ortaya çıkarmıştır. Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynakları ile klasik enerji üretim santrallerinin entegrasyonu sonucunda oluşturulan hibrit yapılardır. Özel bölgelerin enerjilendirilmesi amacıyla kolayca uygulanabildikleri, kaliteli ve kesintisiz enerji sağlayabildikleri için mikro şebekelerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Çeşitli enerji üretim kaynakları ve yükler içermesi nedeniyle mikro şebekelerin, büyük güç sistemlerindeki gibi farklı çalışma ve yük değişimi durumlarına ilişkin analizinin yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada MATLAB / Simulink platformu altında tasarlanan bir mikro şebekenin farklı işletme koşulları altında davranışlarının incelenmesi amacıyla analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynakları, MATLAB.

## 1. Giriş

Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında belirli koşullar sağlanmak zorundadır. Kalite ve süreklilik, sağlanması gereken bu koşullardan en temel ve vazgeçilmez olanlarıdır. Özellikle hassas yükler için gerilim ve akım dalga şekillerinin sinüs biçimine en yakın halde olması ve beslemede sürekliliğin sağlanması hayati öneme sahiptir. Mevcut şebeke yapısı nedeniyle, kritik yüklere sahip son kullanıcılar, kalite ve sürekliliği sağlamak için bireysel önlemler alma zorunluluğu duymaktadır. Ancak, modern dünyanın vazgeçilmez olan elektrik ve elektronik teknolojisinin çok hızlı ilerlemesi, günlük hayatın içine giren cihazların küçülmesi ve hızlanmasının yanında dezavantaj olarak aşırı hassaslaşmalarına yol açmaktadır. Bir şebekedeki tüm kullanıcıların hassas yüklere sahip olması, bireysel önlemlerin, yerini şebeke bazında alınacak önlemlere bırakmasını zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk

sonucu tasarlanan mikro şebekeler, kritik yüklerin enterkonnekte şebekede oluşacak kesinti ve arızalardan en az düzeyde etkilenmesi amacıyla kurulmaya ve kullanılmaya başlanan; güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrojen enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile klasik enerji üretim santrallerinin entegrasyonu sonucu oluşturulan hibrit yapılardır. Ana şebeke açısından incelendiğinde, mikro şebekenin en önemli avantajı, ana şebeke içinde kontrol edilebilir bir yapıda ve gerekli durumda ayrı bir enerji kaynağı olarak çalışabilme yeteneğine sahip olmasıdır.

Kullanıcı açısından bakıldığında ise, bireysel enerji ihtiyaçlarını kaliteli ve kesintisiz enerji sunarak karşılayabilmesi ve bu durumun olası zararları engellemesi yeteneği, mikro şebekenin en büyük avantajı olarak öne çıkmaktadır.

Yaygın olarak kullanılmaya başlanmaları nedeniyle mikro şebekeler için bir standart ihtiyacı ortaya çıkmıştır. 2008 yılında yayınlanan “IEEE Dağıtık Enerji Kaynaklarının Elektrik Güç Sistemlerine Bağlanması İçin Standart” (IEEE Std. 1547.2-2008), bu ihtiyacın tüm yönleriyle karşılanmasını sağlamıştır. Bu standart aynı zamanda içerdiği çeşitli örneklerle planlama mühendislerine, mikro şebeke ve sistem yöneticileri ile donanım üreticilerine önemli bir kaynak teşkil etmektedir [1].

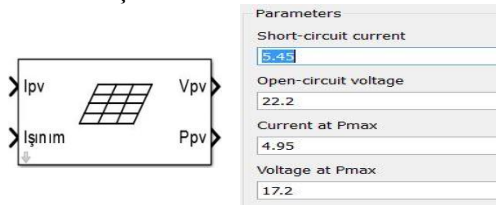
Literatür taraması mikro şebeke çalışmalarındaki artışı gözler önüne sermektedir. Bu çalışmalardan birinde Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs alanı içerisinde, rüzgâr ve güneş enerjisinden oluşan şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı hibrit enerji sistemlerinden elektrik üretimi teorik olarak incelenmiştir [2]. Güneş enerjisinden aydınlatma için faydalanmanın incelendiği bir çalışmada, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi otopark alanının aydınlatılmasında kullanılan FV sistemin performans analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada öngörülen sistem için güneş enerjisinden elde edilen enerji değerleri, hesaplanan ve ölçülen sonuçlar karşılaştırılarak, sunulmuştur. Sonuçlar yardımıyla Güneydoğu Anadolu Bölgesinde güneş enerjisi ile beslenen aydınlatma sistemlerinde tasarım değerlerine katkı sunulmaktadır [3]. RES uygulamalarının önemi, literatür incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalardan birinde elektrik enerjisi üretimi için düşük güçlü bir enerji sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem; dahili şarj birimine sahip 400W gücünde sürekli mknatıslı senkron generatörlü rüzgâr türbini, akü ve darbe

genişlik modülasyonlu eviriciden oluşmaktadır. Sistemin Matlab/Simulink platformunda benzetimi yapılmış, daha sonra benzetim ve deney sonuçları karşılaştırılarak verilmiştir [4]. Yakıt pili sistemleri ile ilgili çalışmalardan birinde tasarlanan mikro şebeke için bir PEM yakıt pili modeli oluşturulmuş, daha sonra diğer dağıtık kaynaklarla çalışması durumunda yakıt pilinin performansı incelenmiştir [5]. Literatürden anlaşılacağı üzere tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de mikro şebekeler ile ilgili çalışmalar son yıllarda ivmelenecek artmaktadır. Bu durum mikro şebekelerin analizinin önemini bir kez daha vurgulamaktadır.

## 2. Mikro Şebekenin Bileşenleri

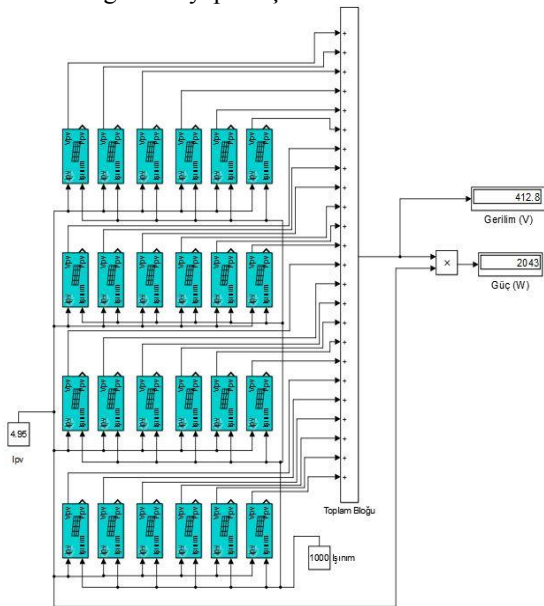
### a) Fotovoltaik (FV) Sistem

PV üretim sistemini oluşturmak için Şekil 1'de özellikleri ile birlikte tanımlanan modül kullanılmıştır.



Şekil 1. FV modül ve özellikleri

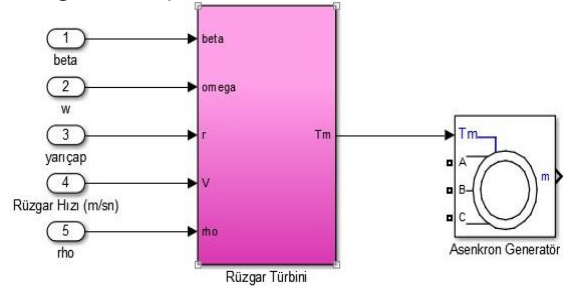
Bu bloklardan 24 adet kullanılarak 412,8 V değerinde çıkış gerilimi elde edilmiş, çıkış gücü olarak da 2043 W bulunmuştur. Bu yapı Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu sistemde elde edilen 412,8 V'luk DA gerilim, 6 darbeli evirici ile 3 fazlı AA'ya dönüştürülmüş, darbelerden kaynaklı gerilim bozulmalarının etkilerinin azaltılması için 380/380 V bir transformatör üzerinden baraya aktarılacak sistem bağlantısı yapılmıştır.



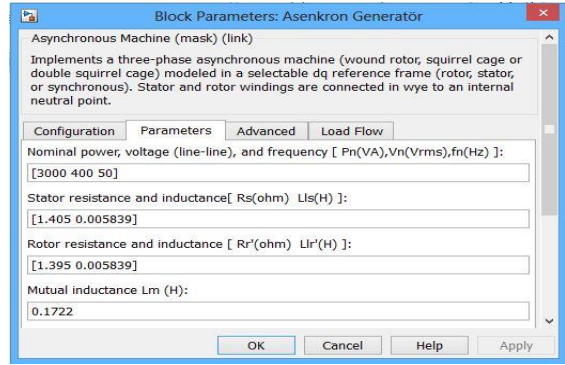
Şekil 2. PV üretim bloğu

### b) Rüzgâr Enerjisi Sistemi (RES)

Rüzgâr hızının 12 m/s olarak belirlendiği sistemde türbin kanatlarının bağlı bulunduğu asenkron generatörün görünür gücü 3 kVA olarak alınmış, çıkış gerilimi 380 V olarak baraya aktarılmıştır. Özgün olarak tasarlanan rüzgâr enerjisi sisteminin blok yapısı Şekil 3'te, bu türbine bağlanan sincap kafesli asenkron generatörün özellikleri ise Şekil 4'te gösterilmiştir.



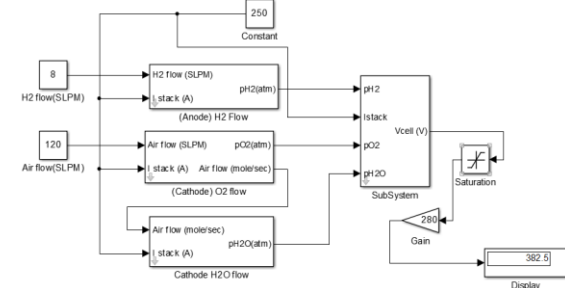
Şekil 3. RES blok yapısı



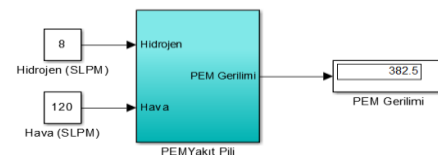
Şekil 4. Asenkron generatörün özellikleri

### c) PEM Yakıt Pili Sistemi

Sisteme bağlı bulunan yakıt pili 500 W güç üretecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem tasarımı gereği bu üretim kaynağından elde edilen 382,5 V DA gerilim PV sistemde olduğu gibi 6 darbeli evirici ile 3 fazlı AA'ya dönüştürülmüş ve 380/380 V bir transformatör üzerinden sisteme bağlanmıştır. Yakıt pilinin iç yapısı Şekil 5'te, blok yapısı ise Şekil 6'da gösterilmiştir [6].



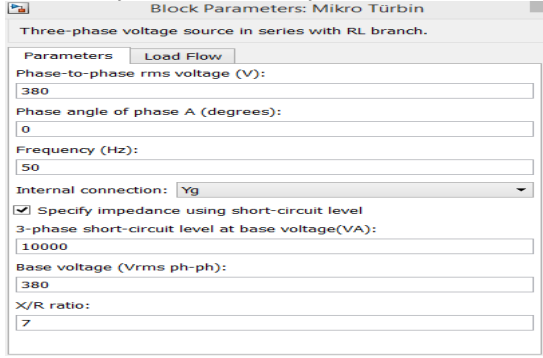
Şekil 5. PEM yakıt pilinin iç yapısı



Şekil 6. PEM yakıt pilinin blok yapısı

#### d) Mikro Türbin

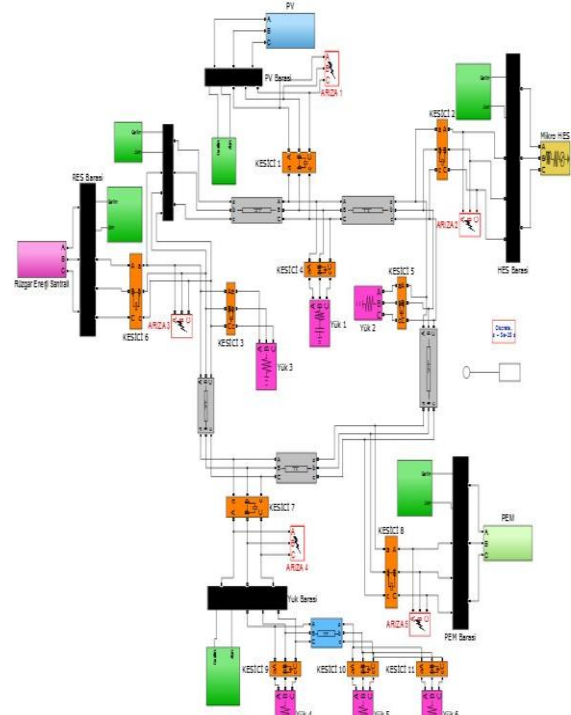
Mikro şebekenin en büyük kaynağı olarak varsayılan mikro türbinin gücü 10 kVA olarak belirlenmiştir. Üretim kaynağının çıkışı 380 V olarak mikro şebekeye bağlanmıştır. Tasarlanan mikro şebekede mikro türbin yapısı olarak üç fazlı kaynak kullanılmıştır. Mikro türbini temsil etmesi amacıyla sisteme eklenen üç fazlı kaynağın özellikleri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Mikro Türbin blok parametreleri

### 3. Mikro Şebekenin Farklı İşletme Koşulları Altında İncelenmesi

Bu bölümde, mikro şebekenin çeşitli arıza durumlarında, yüklerden ya da kaynaklardan bir veya birkaçının devre dışı kalması halinde nasıl davranacağı incelenecektir. Bunun için mikro şebekenin çeşitli noktalarında arızalar oluşturulmuş ve grafiklerle mikro şebekenin bu arıza durumlarında çalışma karakterinin değişimi gözlenmiştir. Arıza noktalarının gösterildiği mikro şebeke yapısı Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Tasarlanan Mikro Şebeke

Oluşturulan senaryoya göre;

- Benzetim sisteminin çalıştırılmaya başlandığı an 0 (sıfır) olarak kabul edilmiş ve sistem 0.015’inci saniyeye kadar normal işletme koşullarında çalışmıştır.
- PV barasında 0.015’inci saniyede arıza oluşmuştur (ARIZA 1). 0.020’nci saniyede de PV barasına bağlı bulunan kesici, sistemi şebekeden ayırmıştır. 0.025’inci saniyede PV sistemde oluşan arıza sona ermiştir. 0.03’üncü saniyede PV barasına bağlı bulunan kesici kapanarak sistemi tekrar şebekeye dâhil etmiştir.
- 0.04’üncü saniyede Mikro HES sisteminde oluşan arızanın ardından (ARIZA 2) 0.045’inci saniyede Mikro HES sistemine ait baranın kesicisi sistemi şebekeden ayırmıştır. Arızanın 0.05’inci saniyede sona ermesinin ardından 0.055’inci saniyede kesici kapanarak mikro HES sisteminin şebeke bağlantısı tekrar yapılmıştır.
- 0.06’nci saniyede yük barasında arıza oluşmuştur (ARIZA 4). Bu durum üzerine yük barasına ait kesici 0.065’inci saniyede açılarak yüklerin şebeke bağlantısının ayrılmasını sağlamıştır. 0.07’nci saniyede arızanın sona ermesi ile 0.075’inci saniyede yük barasının kesicisi kapanarak yüklere tekrar enerji verilmiştir.
- 0.08’nci saniyede mikro şebekenin iletim hattında bir arıza meydana gelmiştir (ARIZA 3). Bu arıza 0.09’uncu saniyeye kadar devam etmiş ve sonlanmıştır. Bu arıza esnasında 0.085’inci saniyede rüzgâr enerji santrali (RES) barasına bağlı bulunan kesici açılmış, 0.095’inci saniyede kapanarak sistemin tekrar şebekeye bağlanması sağlanmıştır.

- 0.1'inci saniyede yakıt pili sistemi barasında arıza oluşmuştur (ARIZA 5). Bu arıza sonucunda 0.105'inci saniyede baraya bağlı kesici açılmış ve sistem şebekeden ayrılmıştır. 0.11'inci saniyede arızanın sona ermesi ile kesici 0.115'inci saniyede kapanarak sistemin şebeke bağlantısı tekrar sağlanmıştır. Daha sonra;

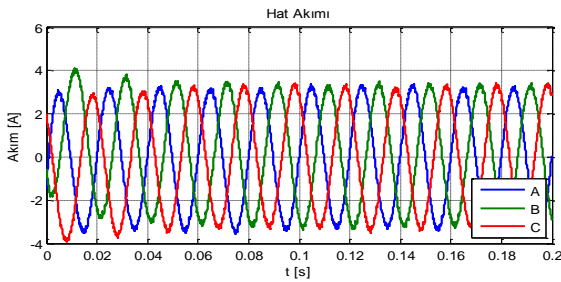
- Yük 1, 0.12'nci saniyede devreden çıkarılıp 0.13'üncü saniyede tekrar devreye alınmış; Yük 2, 0.125'inci saniyede devreden çıkarılıp 0.135'inci saniyede devreye alınmış; Yük 3, 0.14'üncü saniyede devreden çıkarılıp 0.15'inci saniyede devreye alınmış; Yük 4, 0.145'inci saniyede devreden çıkarılıp 0.155'inci saniyede devreye alınmış; Yük 5, 0.16'nci saniyede devreden çıkarılıp 0.17'nci saniyede devreye alınmış; Yük 6, 0.165'inci saniyede devreden çıkarılıp 0.175'inci saniyede devreye alınmıştır.

Bu durumlardan sonra benzetim sistemi 0.2'nci saniyeye kadar normal işletme koşullarında çalıştırılmış, işlem sonlandırılarak sistemin tepkisi gözlenmiştir.

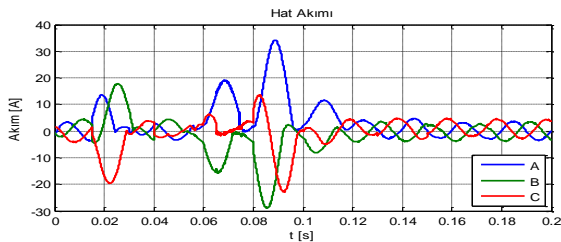
Bu senaryolar sonucunda mikro şebekenin davranışı için çeşitli grafikler incelenmiştir. İncelenen grafikler Şekil 9'dan Şekil 5.28'e kadar olan şekillerde gösterilmiştir. Karşılaştırmalı analiz yapılabilmesi için normal çalışma durumu ve arıza durumu grafikleri birlikte verilmiştir. Verilen grafiklerde A, B, ve C ifadeleri her bir fazı temsil etmektedir. Yük barasındaki yüklerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Sistem Yükleri**

YÜK	Bağlı Olduğu Bara	Güçü
Yük 1	PV Barası	2000 W, 600 VAR
Yük 2	HES Barası	12000 W
Yük 3	RES Barası	6000 W
Yük 4	Yük Barası	12000 W
Yük 5	Yük Barası	8000 W
Yük 6	Yük Barası	10000 W



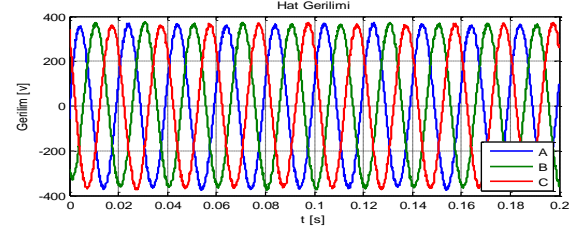
(a) Normal işletme



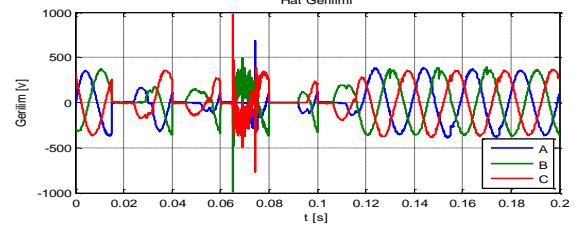
(b) Arıza durumu

**Şekil 9. Hat akımı grafikleri**

Hat akımının arıza durum grafiği incelendiğinde PV sistem arızası, yük barası arızası ve özellikle hat arızası anlarında akımın büyük sıçramalar yaptığı görülmüştür. Diğer üretim kaynaklarına göre gücü daha düşük olan yakıt pili sistemi barasında oluşan arızada ise akım değeri daha az etkilmiştir.



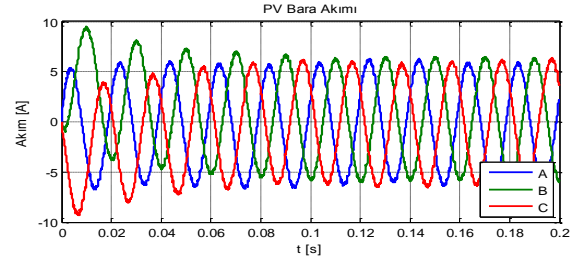
(a) Normal işletme



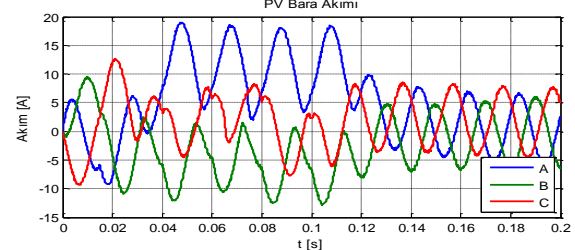
(b) Arıza durumu

**Şekil 10. Hat geriliminin grafikleri**

Şekil 10 normal işletme ve arıza şartlarında hat gerilimindeki değişimleri göstermektedir. Hat gerilim grafiğinde en dikkat çeken unsur yük barasında oluşan arıza ve ardından yük barasına ait kesicinin açılıp kapanması esnasında gerilim değerinin nominal gerilimin yaklaşık 2.5 katına ulaşmasıdır.



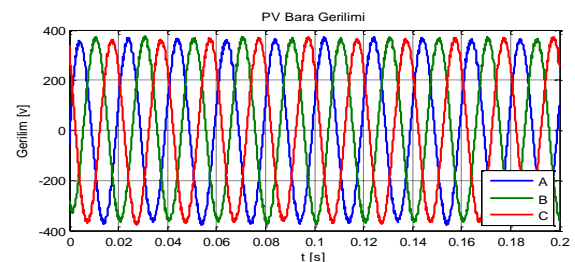
(a) Normal işletme

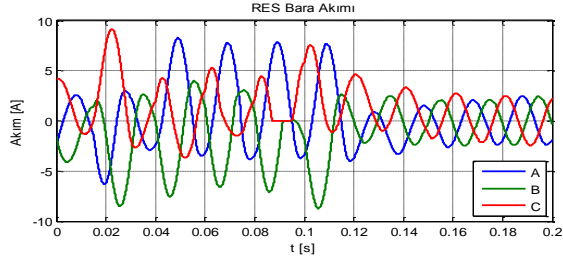


(b) Arıza durumu

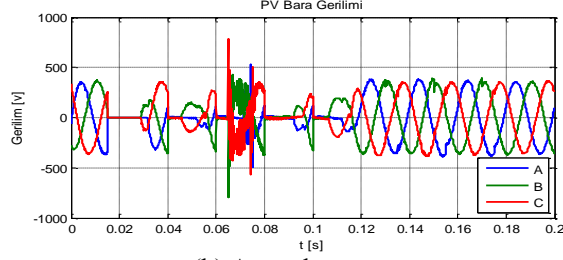
**Şekil 11. FV sistem bara akımı grafikleri**

Şekil 11'de verilen FV barasının akım grafiğinde, bu baranın arıza durumu tepkisinde kararlı bir davranış sergilediğini görülmektedir.





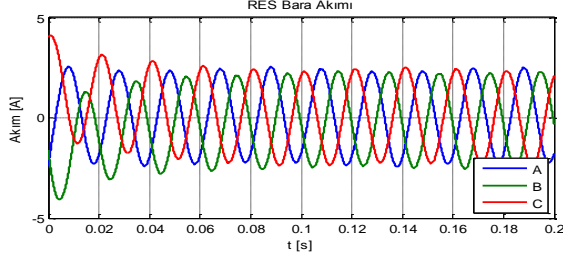
(a) Normal işletme



(b) Arıza durumu

### Şekil 12. FV sistem bara gerilimi grafikleri

Şekil 12'de yine benzer şekilde, sistemdeki diğer baralardan farklı olarak FV barasının gerilimi tepe değeri olarak en fazla 750 V seviyesine ulaştığı görülmüştür. Bu durum FV üretim sisteminin kararlılığının fazla olduğu görüşünü doğrulamaktadır.

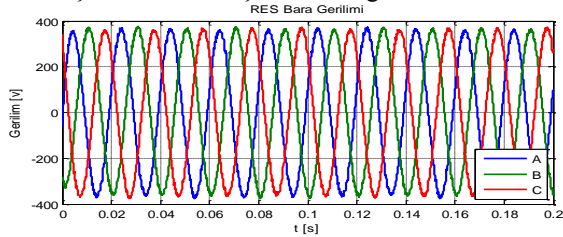


(a) Normal işletme

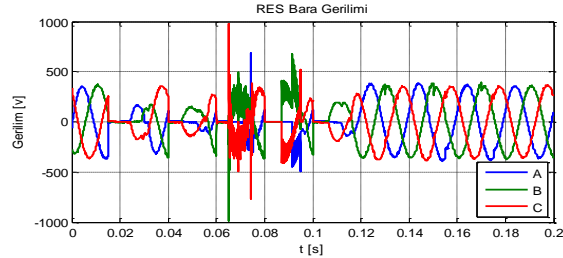
(b) Arıza durumu

### Şekil 13. RES bara akımı grafikleri

FV barasının gerilim kararlılığının benzeri durum RES barasında akım kararlılığı olarak tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 13'te görülebilmektedir.



(a) Normal işletme

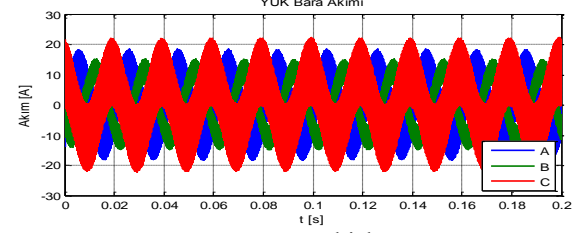


(b) Arıza durumu

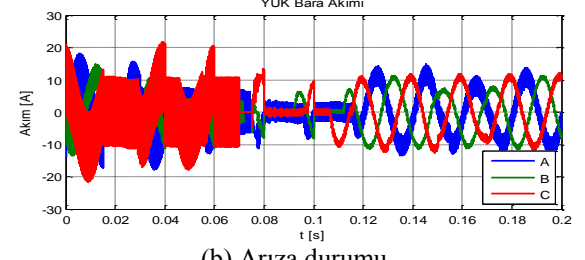
### Şekil 14. RES bara gerilimi grafikleri

RES barası akım kararlılığı, gerilim değerinde sağlanamamıştır. Özellikle ani yük atılması durumu sayılabilecek yük barasının devre dışı kalması esnasında bara geriliminin nominal gerilimin 2.5 katı değerlerine ulaştığı görülmüştür. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, hat arızası durumunun RES barasına yakın olması nedeniyle

bara geriliminin söz konusu arıza durumunda sıfır değerine yakın bir değerde seyretmesidir.



(a) Normal işletme



(b) Arıza durumu

### Şekil 15. Yük barası akımı grafikleri

Şekil 15'ten de görüleceği üzere, sistemde oluşan her arızada yük barası akım değerlerinde bozulma olmaktadır. Bu durum yük barası akımlarının sistemdeki en hassas parametre olduğunu göstermektedir.

## 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada mikro şebekenin farklı işletme koşullarındaki davranışlarını da belirlemek amacıyla sistemin çeşitli noktalarında arızalar oluşturulmuş ve kaynakların devreden çıkarılıp devreye alınması sağlanarak meydana gelen değişimler akım ve gerilim grafikleri üzerinden incelenmiştir. Grafiklerden mikro şebeke davranışı ile ilgili şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Sistemdeki büyük kaynaklarda oluşan arızalar, sistemin bütünü üzerinde kaynak gücünün büyüklüğü ile doğru orantılı olarak etki oluşturmaktadır.

- Küçük yüklerin ayrı ayrı devreden çıkması sistemi çok fazla etkilememekle beraber yük atma olarak tanımlanabilecek yük barası arızası ve sonrasında da bara kesicisinin açmasıyla diğer baralarda geçici kararsızlık durumu ortaya çıkmış ve özellikle bara gerilimleri anma geriliminin 2.5 katı kadar tepe değerlerine ulaşmıştır. Özellikle halka şebeke yapısında tasarlanan mikro şebekede sistem bileşenleri, herhangi bir noktada oluşan arızadan doğrudan etkilenmektedir. Bu durum, ek güvenlik önlemlerinin alınmasını zorunlu kılmaktadır. Güç sistem planlamacılarının ve araştırmacılarının sistem güvenliği açısından bu durumlara uygun koruma elemanlarını kullanmaları zorunludur.

## Kaynaklar

[1] Del Carpio Huayllas, T.E., Ramos, D.S. and Vasquez-Arnez, R.L., 2010. Microgrid Systems: Current Status and Challenges, Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA), Sao Paulo,

- [2] Köse G., 2010. Hibrit (Güneş +Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi: Kütahya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [3] Gümüş, B., Erdoğan, H., Efe, S.B., Gümüş, R., 2013. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otopark Alanının Aydınlatılmasında Kullanılan Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Girne, KKTC.
- [4] Toprak A., 2011. Düşük güçlü Bir Rüzgar Enerji Sistemi İçin İnverter Uygulaması, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ,
- [5] Gao, W., Zheglov, V., Wang, G. and Mahajan, S.M., 2009. PV - Wind - Fuel Cell - Electrolyzer Micro-Grid Modeling and Control in Real Time Digital Simulator, IEEE International Conference on Clean Electrical Power, Capri.
- [6] Ural, Z., Gümüş, B., ve Gençoğlu M.T., 2007. Bir PEM Yakıt Pili Sisteminin Matlab ile Modellenmesi, YEKSEM'07, Gaziantep.